

# Untersuchungen zum Einfluss des Plattenaufbaus auf ausgewählte Eigenschaften von Massivholzplatten

Hervé Bader · Peter Niemz · Walter Sonderegger

Published online: 19 September 2006  
© Springer-Verlag 2006

**Zusammenfassung** An labortechnisch hergestellten Massivholzplatten aus Fichtenholz wurden die Wärmeleitfähigkeit, die Gleichgewichtsfeuchte, die Längenquellung und der Wasserdampfdiffusionswiderstand bestimmt. Die Wärmeleitfähigkeit liegt im Normalklima im Bereich von 0,09–0,11 W/m · K. Hohlräume in der Mittellage (Schlitze, Abstände zwischen den einzelnen Brettlamellen) führen zu einer geringen Reduzierung der Wärmeleitfähigkeit. Auch die Anordnung der Jahrringe wirkt sich aus. Auf den Wasserdampfdiffusionswiderstand haben die Orientierung der Jahrringe in den Lagen und die Hohlräume in den Mittellagen einen Einfluss. Die Gleichgewichtsfeuchte liegt oberhalb von 35% rel. Luftfeuchte etwas unterhalb derjenigen von Fichtenholz. Bei Holzwerkstoffmittellagen ist sie durch die geringere Ausgleichsfeuchte der Holzpartikelwerkstoffe geringer als bei reinen Vollholzmittellagen.

## Investigation on the influence of the panel composition on selected properties of three-layer solid wood panels

**Abstract** The coefficient of thermal conductivity, the equilibrium moisture content, the in-plane swelling and the water vapour resistance of laboratory-produced three-layer solid wood panels of Norway spruce wood were tested. The coefficient of thermal conductivity is in the range of 0.09–0.11 W/m · K in normal climate. The voids in the middle layer (slots, spaces between the lamellas) cause a slight decrease of the coefficient of thermal conductivity. The orientation of the growth rings has an effect on the thermal conductivity as well. The water vapour resistance is affected

by the orientation of the growth rings in the layers and the voids in the middle layer. The equilibrium moisture content above a relative humidity of 35% is slightly below the one of solid spruce wood. The equilibrium moisture content of solid wood panels with a middle layer of wood-based material is smaller because of its lower equilibrium moisture content compared with solid wood.

## 1 Einleitung

Im Bauwesen werden verstärkt mehrschichtige Massivholzplatten für konstruktive Zwecke eingesetzt. Dabei werden neben konventionellen Mehrschichtplatten auch solche mit Mittellagen aus Holzwerkstoffen verwendet (Tobisch und Krug 2002a, 2002b). Zunehmend wird versucht, den Plattenaufbau zu optimieren, um Kosten einzusparen, und auch, um die durch die Querverleimung entstehenden Spannungen zu vermindern. So werden die Mittellagen geschlitzt, Decklagen mit Riffschnitt eingesetzt oder auch Holzwerkstoffe wie Spanplatten und OSB in der Mittellage verwendet. Bisher gibt es vergleichsweise wenige Arbeiten zu den Beziehungen zwischen Plattenaufbau und Platteneigenschaften. Dies betrifft insbesondere die Wärmeleitfähigkeit, den Diffusionswiderstand, das Sorptionsverhalten und die Quellung, aber auch die Formbeständigkeit und die Rissbildung im Differenzklima. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden an labortechnisch hergestellten Platten mit variablem Aufbau ausgewählte Eigenschaften getestet.

## 2 Erkenntnisstand

Zu mechanischen Eigenschaften von Massivholzplatten und zum Einfluss des Plattenaufbaus liegen vergleichsweise viele Arbeiten vor. So wurden von Kreuzinger (1991), Blaß und Fellmoser (2003) sowie Donzé und Niemz (2004) Untersu-

H. Bader · P. Niemz (✉) · W. Sonderegger  
Institut für Baustoffe, Holzphysik, ETH Zürich,  
Schafmattstrasse 6,  
8093 Zürich, Switzerland  
e-mail: niemzp@ethz.ch

chungen zur Berechnung der mechanischen Eigenschaften von Massivholzplatten publiziert. In der Praxis erfolgt die Berechnung noch überwiegend in Anlehnung an die Berechnungsgrundlagen von Baufurniersperrholz (DIN 68705-5 Beiblatt 1). Experimentell wurde der Einfluss des Plattenaufbaus u.a. von Krug (1999), Tobisch und Krug (2002a, 2002b, 2002c) sowie Steiger und Niemz (2004) untersucht. Tobisch und Krug (2002a, 2002b) prüften auch die Kombination von Decklagen aus Vollholz und Holzwerkstoffmittellagen. Für die Wärmeleitfähigkeit ( $\lambda$ ) liegen nur Literaturangaben aus Firmenschriften vor. Es wird meist ein Wert für  $\lambda$  von 0,12–0,14 W/m · K angegeben. Die Werte für den Wasserdampfdiffusionswiderstand ( $\mu$ ) schwanken sowohl in Firmenschriften als auch in wissenschaftlichen Publikationen deutlich. So wird in Merz et al. (1997) ein Wert für  $\mu$  von 20–160 angegeben, Radovic et al. (2001) geben 50 (feucht) und 400 (trocken) an. Die Gleichgewichtsfeuchte von Massivholzplatten aus Fichtenholz liegt leicht unter der von Fichtenvollholz. Für die differenzielle Längenquellung wurden in Abhängigkeit vom Plattenaufbau Werte von 0,016%–0,045%/‰ ermittelt (Popper et al. 2004). Insgesamt streuen die publizierten Ergebnisse in einem weiten Bereich.

### 3 Versuchsmaterial und Methodik

#### 3.1 Versuchsmaterial

Als Versuchsmaterial dienten

- industriell verklebte Lagen aus Fichtenholz (*Picea abies* [L.] Karst.) für Massivholzplatten (Dicken: 10, 14, 20,

30, 40 mm; teilweise wechselseitig von oben und unten eingesägt, um Spannungsspitzen abzubauen)

- MDF- und OSB-Platten als Mittellagen

Die Lagen wurden vor der Verklebung im Normalklima bei 20 °C und 65% rel. Luftfeuchte klimatisiert. Die Verklebung erfolgte mit dem 1-Komponenten Polyurethanklebstoff PURBOND HB 181. Die Leimauftragsmenge betrug 180 g/m<sup>2</sup>, die Presszeit 6,5 h, der Pressdruck 0,7 bar. Von der Oberfläche der OSB-Platten wurde vor der Verklebung beidseitig je 1 mm abgeschliffen, um die Presshaut zu beseitigen. Tabelle 1 zeigt die Versuchsübersicht. Je Variante wurden 6 Platten im Format 500 mm × 500 mm hergestellt: 3 Platten zur Messung der Wärmeleitfähigkeit und 3 Platten zur Herstellung der Proben für die Bestimmung des Diffusionswiderstandes und der Längenquellung.

#### 3.2 Versuchsdurchführung

##### 3.2.1 Wärmeleitfähigkeit

Je Variante wurde an 3 Platten die Wärmeleitfähigkeit mit dem Wärmeleitfähigkeitsmessgerät „ $\lambda$ -Meter EP 500“ gemessen. Die Messungen erfolgten bei 10 °C, 25 °C und 40 °C. Daraus wurde dann durch Extrapolation der Wert bei 10 °C bestimmt. Die Prüfung erfolgte nach DIN 52612 Teil 1. Vor der Prüfung wurden die Proben im Normalklima bei 20 °C und 65% rel. Luftfeuchte klimatisiert. Zur besseren Vergleichbarkeit wurden die Ergebnisse der Messungen an den Platten aus reinen Holzlagen auf eine einheitliche, mittlere Rohdichte von 437 kg/m<sup>3</sup> und eine einheitliche Holzfeuchte von 12% umgerechnet (Tabelle 2).

**Tabelle 1** Versuchsaufbau  
**Table 1** Experimental setup

Nr.	Plattenaufbau (Schichtdicken in mm)	Lamellen- breite (Mittellage)	Lamellen- breite (Decklagen)
1	10/10/10	70 mm, verleimt	70 mm, verleimt
2	10/20/10	70 mm, verleimt	70 mm, verleimt
3	10/40/10	70 mm, verleimt	70 mm, verleimt
4	7/14 <sub>G</sub> /7	50–80 mm, verleimt, doppelseitig geschlitzt (11 mm tief, im Abstand von 10 mm alternierend)	100 mm, verleimt
5	20/30 <sub>G</sub> /20	70 mm, verleimt, doppelseitig, geschlitzt (20 mm tief, im Abstand von 16 mm alternierend)	70 mm, verleimt
6	10 <sub>st</sub> /10/10 <sub>st</sub>	70 mm, verleimt	70 mm, verleimt, stehende Jahrringe
7	14 <sub>st</sub> /14 <sub>st</sub> /14 <sub>st</sub>	25 mm, verleimt, stehende Jahrringe	25 mm, verleimt, stehende Jahrringe
8	10/19 <sub>MDF</sub> /10	MDF-Platte	70 mm, verleimt
9	10/17 <sub>OSB</sub> /10	OSB-Platte	70 mm, verleimt
10	10/10 <sub>0</sub> /10	70 mm, unverleimt	70 mm, verleimt
11	10/10 <sub>5</sub> /10	70 mm, mit 5 mm Abstand	70 mm, verleimt
12	10/10 <sub>10</sub> /10	70 mm, mit 10 mm Abstand	70 mm, verleimt
13	10/10 <sub>30</sub> /10	70 mm, mit 30 mm Abstand	70 mm, verleimt
14	10 <sub>l</sub> /10/10 <sub>l</sub>	70 mm, verleimt	70 mm, verleimt, liegende Jahrringe

G = geschlitzt (slotted);  
st = stehende Jahrringe (vertical  
growth rings); l = liegende  
Jahrringe (horizontal growth  
rings); 0, 5, 10, 30 = Abstand  
zwischen den Lamellen (space  
between the lamellas)

**Tabelle 2** Wärmeleitfähigkeit der geprüften Varianten  
**Table 2** Coefficients of thermal conductivity of the divers board types

Variante	Plattenaufbau [mm]	Rohdichte [kg/m <sup>3</sup> ]	Holzfeuchte [%]	Wärmeleitfähigkeit			Temperatur- einfluss $T_c$ [W/m·K <sup>2</sup> ] ·10 <sup>-3</sup>
				$\lambda_{-10}$ [W/m·K]	$\lambda_{-10}$ (u = 12%) [W/m·K]	$\lambda_{-10}$ ( $\rho = 437$ kg/m <sup>3</sup> ) [W/m·K]	
1	10/10/10	417	11,65	0,091	0,092	0,096	0,28
2	10/20/10	436	12,27	0,096	0,096	0,096	0,24
3	10/40/10	432	12,58	0,099	0,098	0,099	0,43
4	7/14 <sub>G</sub> /7	435	11,55	0,095	0,096	–	0,30
5	20/30 <sub>G</sub> /20	394	12,59	0,094	0,093	–	0,48
6	10 <sub>st</sub> /10/10 <sub>st</sub>	424	11,57	0,088	0,088	0,091	0,22
7	14 <sub>st</sub> /14 <sub>st</sub> /14 <sub>st</sub>	467	10,78	0,104	0,106	0,100	0,26
8	10/19 <sub>MDF</sub> /10	596	9,20	0,105	–	–	0,30
9	10/17 <sub>OSB</sub> /10	544	10,47	0,107	–	–	0,27
10	10/10 <sub>o</sub> /10	446	12,00	0,101	0,101	0,099	0,29
11	10/10 <sub>s</sub> /10	443	12,56	0,100	0,100	–	0,31
12	10/10 <sub>l</sub> /10	418	12,39	0,094	0,094	–	0,30
13	10/10 <sub>30</sub> /10	397	11,67	0,091	0,091	–	0,38
14	10 <sub>l</sub> /10/10 <sub>l</sub>	441	12,03	0,096	0,096	0,095	0,26

$T_c$  = Temperaturkoeffizient  
 = Zunahme von  $\lambda$  je 1 °C  
 $T_c$  = Coefficient of temperature  
 = increase of  $\lambda$  per 1 °C

Für die Feuchte- und Dichtekorrektur wurden die von Kollmann (1951) in Niemz (1993) angegebenen Formeln verwendet (Gl. 1 und 2):

Für den Einfluss der Holzfeuchte gilt:

$$\lambda_2 = \lambda_1 [1 - 0,0125(u_1 - u_2)], \quad (1)$$

$\lambda_1, \lambda_2$  = Wärmeleitfähigkeit bei Holzfeuchte  $u_1$  bzw.  $u_2$   
 [W/m·K]

$u_1, u_2$  = Holzfeuchten im Zustand 1 bzw. 2 [%].

Für den Einfluss der Rohdichte gilt:

$$\lambda_{\perp,1} = 0,026 + 0,195 \cdot \rho_1 \cdot 10^{-3}. \quad (2)$$

Daraus lässt sich folgende Gleichung zur Dichtekorrektur der Wärmeleitfähigkeit herleiten:

$$\lambda_{\perp,2} = \lambda_{\perp,1} + 0,195 \cdot (\rho_2 - \rho_1) \cdot 10^{-3}, \quad (3)$$

$\lambda_{\perp,1}, \lambda_{\perp,2}$  = Wärmeleitfähigkeit senkrecht zur Faserrichtung bei Rohdichte 1 bzw. 2 [W/(m·K)]

$\rho_1, \rho_2$  = Rohdichten 1 bzw. 2 [kg/m<sup>3</sup>].

### 3.2.2 Gleichgewichtsfeuchte und Längenquellung

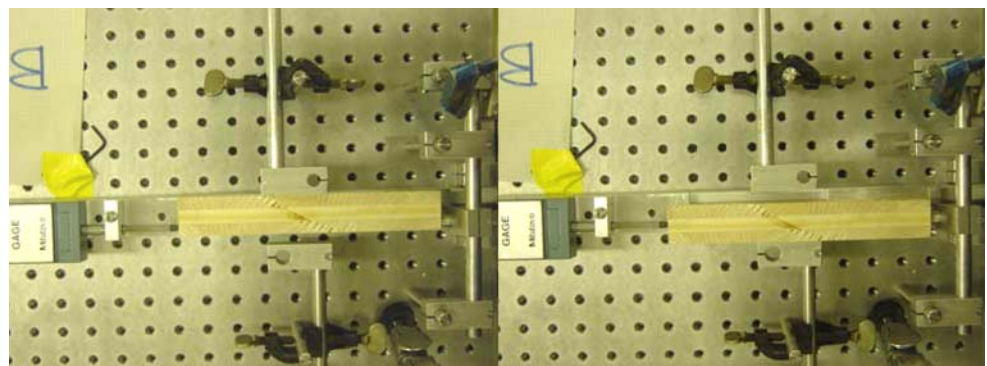
Die Längenquellung wurde nach DIN 52184, die Gleichgewichtsfeuchte in Anlehnung an DIN 52183 bestimmt.

Die Messung erfolgte an je 20 Proben parallel und außer bei den Varianten 11–13 (s. Tabelle 1) auch senkrecht zur Faserrichtung der Decklagen. Das Probenformat betrug 20 mm( Breite) × 200 mm( Länge) × Plattendicke. Gemessen wurden in beiden Richtungen die faserparallelen Schichten, um den Randeinfluss gering zu halten (parallel zur Faserrichtung → Messung der Decklage; senkrecht zur Faserrichtung → Messung der Mittellage). Die Sorptions-Messungen erfolgten im Klima bei 20 °C und 35%, 50%, 65%, 80%, 88% und 95% rel. Luftfeuchte, die Längenmessungen im Klima bei 20 °C und 35%, 50%, 65% und 80% rel. Luftfeuchte, da sich die Proben bei höheren Feuchten krümmten und dadurch das Messresultat verfälschten. Für die Längenmessung wurde die in Abb. 1 dargestellte Versuchsvorrichtung verwendet.

Aus den ermittelten Längenänderungen wurde das lineare Quellmaß  $\alpha$  und die differenzielle Längenänderung  $q$  (berechnet als Regression zwischen 35% und 80% rel. Luft-

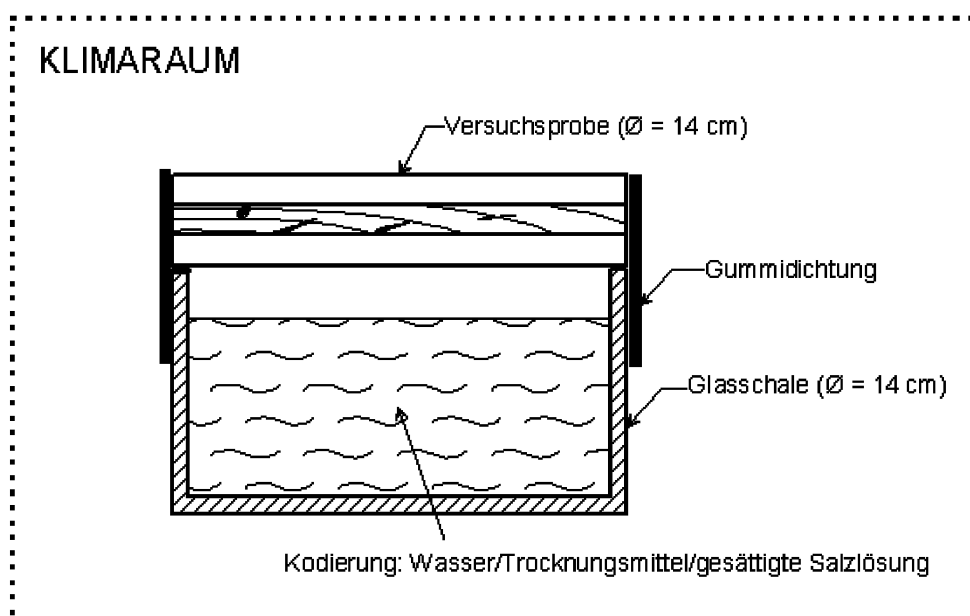
**Abb. 1** Versuchseinrichtung zur Messung der Längenänderung (links: Messung der Deckschicht; rechts: Messung der Mittelschicht)

**Fig. 1** Measurement of the linear change (left: Measurement of the upper layer; right: Measurement of the middle layer)



**Abb. 2** Versuchsaufbau zur Messung des Wasserdampfdiffusionswiderstandes

**Fig. 2** Experimental setup for the measurement of the water vapour resistance



feuchte) analog den Gleichungen 4 und 5 bestimmt. Dabei wurde infolge Rissbildung bei der Darrtrocknung in beiden Gleichungen an Stelle von  $l_0$  die Länge bei 35% rel. Luftfeuchte verwendet.

$$\alpha = \frac{l_2 - l_1}{l_0} \cdot 100, \quad (4)$$

$$q = \frac{l_F - l_T}{l_0 \cdot (u_F - u_T)} \cdot 100, \quad (5)$$

$\alpha$  = Lineares Quellmaß [%]

$q$  = Differenzielle Längenänderung [%/%]

$l_0$  = Länge der darrtrockenen Probe (hier: bei 35% rel. Luftfeuchte [mm])

$l_1, l_2$  = Länge der Probe bei der Holzfeuchte  $u_1$  bzw.  $u_2$  [mm]

$l_F$  = Länge der Probe im Feuchtklima (hier: bei 80% rel. Luftfeuchte [mm])

$l_T$  = Länge der Probe im Trockenklima (hier: bei 35% rel. Luftfeuchte [mm])

$u_F$  = Holzfeuchte im Feuchtklima [%]

$u_T$  = Holzfeuchte im Trockenklima [%].

### 3.2.3 Wasserdampfdiffusionswiderstand

Der Wasserdampfdiffusionswiderstand wurde nach EN ISO 12572 (2001) bestimmt. Es wurde die in Abb. 2 dargestellte Versuchseinrichtung verwendet. Es wurde ein Differenzklima von 20 °C/65% rel. Luftfeuchte und 20 °C/0% rel. Luftfeuchte (Silikagel) verwendet. Berechnet wurden die Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl  $\mu$  und die wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke  $s_d$ . Je Variante wurden 3 Proben geprüft.

## 4 Versuchsergebnisse

### 4.1 Allgemeines

In den Tabellen zur Wärmeleitfähigkeit und zum Wasserdampfdiffusionswiderstand (Tabellen 2 und 5) wurden jeweils die Mittelwerte aus den 3 Messungen pro Variante angegeben, bei den Holzfeuchten der Sorptionsmessungen (Tabelle 3) wurden ebenfalls nur die Mittelwerte aufgeführt (sehr geringe Streuung der Werte mit einem Variationskoeffizienten von < 3%), in den Abbil-

**Tabelle 3** Gleichgewichtsfeuchten bei verschiedenen relativen Luftfeuchten

**Table 3** Moisture content at different relative humidities

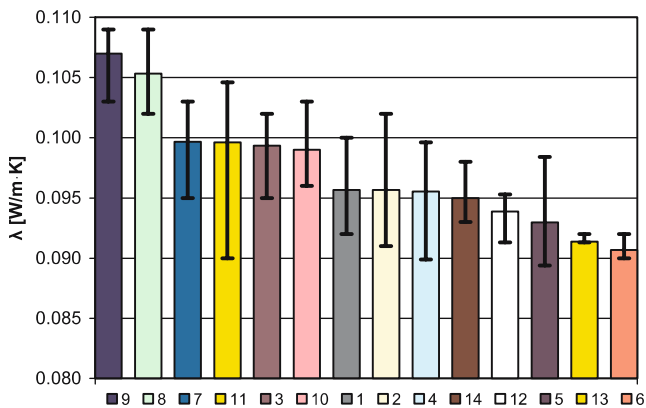
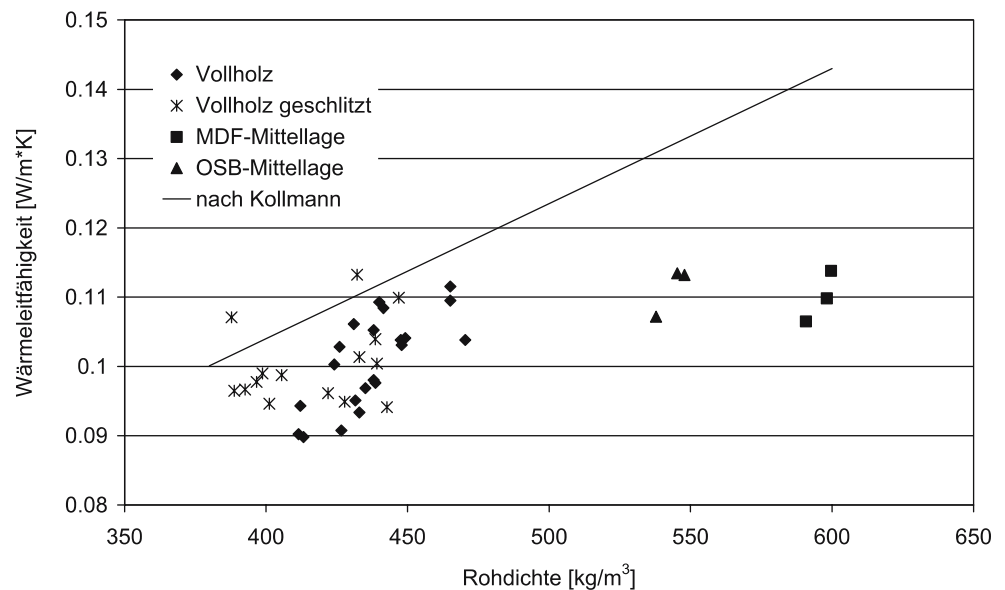
Var.Nr.	Platten- aufbau	Holzfeuchte [%] bei den rel. Luftfeuchten					
		35%	50%	65%	80%	88%	95%
Fichten- holz		8,5	11,1	12,5	16,8	21,6 <sup>1</sup>	27,7
1	10/10/10	9,4	10,72	11,60	14,65	17,77	25,59
2	10/20/10	9,7	10,9	11,9	14,9	18,53	24,2
3	10/40/10	9,95	11,40	12,39	15,61	18,06	26,31
4	7/14 <sub>G</sub> /7	9,13	10,27	11,27	15,14	17,37	24,25
5	20/30 <sub>G</sub> /20	9,92	11,36	12,40	15,39	18,61	24,45
6	10 <sub>st</sub> /10/10 <sub>st</sub>	9,72	11,13	12,07	15,00	18,22	26,48
7	14 <sub>st</sub> /14 <sub>st</sub> /14 <sub>st</sub>	9,35	10,43	11,20	14,60	17,64	24,91
8	10/19 <sub>MDF</sub> /10	7,83	8,73	9,32	12,32	16,10	24,19
9	10/17 <sub>OSB</sub> /10	8,55	9,53	10,27	13,40	16,99	24,55
10	10/10 <sub>0</sub> /10	9,70	11,12	11,97	15,01	17,93	25,58
11	10/10 <sub>5</sub> /10	9,65	11,00	11,85	15,41	17,73	25,82
12	10/10 <sub>10</sub> /10	9,62	10,97	11,85	15,30	18,14	26,32
13	10/10 <sub>30</sub> /10	9,64	11,00	11,89	15,30	17,80	25,50
14	10 <sub>1</sub> /10/10 <sub>1</sub>	9,93	11,07	12,00	15,01	17,99	24,37

<sup>1</sup> Extrapoliert aus den Werten bei 80% und 95% relativer Luftfeuchte.

<sup>1</sup> Extrapolated from the values at a relative humidity of 80% and 95%.

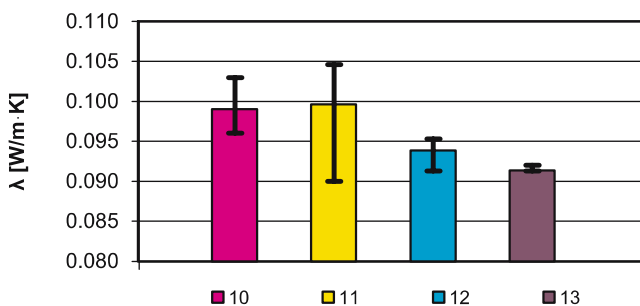
**Abb. 3** Einfluss der Rohdichte auf die Wärmeleitfähigkeit (Messwerte bei 25 °C und 65% Luftfeuchte) und Vergleich mit den Werten von Kollmann (lineare Regression (Gl. 2) aus Messungen bei 27 °C und 12% Holzfeuchte)

**Fig. 3** Influence of the density on the thermal conductivity (values at 25 °C and a relative humidity of 65%) compared with values from Kollmann (linear regression (Eq. 2) of values at 27 °C and 12% moisture content)



**Abb. 4** Wärmeleitfähigkeit, korrigiert um die Differenzen in der Holzfeuchte und der Rohdichte (vgl. Tabelle 2)

**Fig. 4** Thermal conductivity, corrected by the differences of moisture content and density (cf. Table 2)



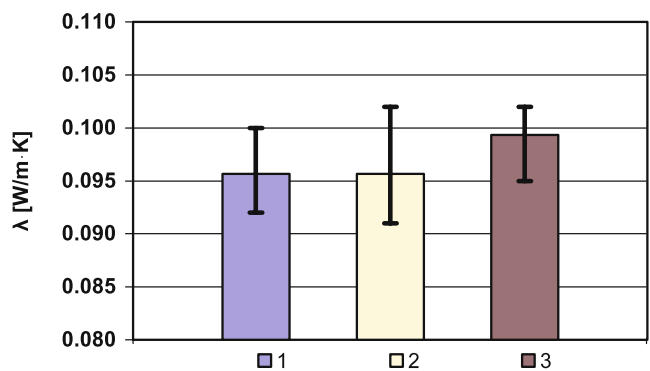
**Abb. 5** Wärmeleitfähigkeit als Funktion der Struktur der Mittellage (Abstand zwischen den Lamellen in der Mittellage; Varianten: 10 (10/10<sub>0</sub>/10), 11 (10/10<sub>5</sub>/10), 12 (10/10<sub>10</sub>/10), 13 (10/10<sub>30</sub>/10))

**Fig. 5** Thermal conductivity as a function of the structure of the middle layer (space between the lamellas; types: 10 (10/10<sub>0</sub>/10), 11 (10/10<sub>5</sub>/10), 12 (10/10<sub>10</sub>/10), 13 (10/10<sub>30</sub>/10))

dungen zur Wärmeleitfähigkeit und zum Wasserdampfdiffusionswiderstand dagegen die Einzelwerte (Abb. 3, 8 und 9) oder Mittelwert sowie Maximal- und Minimalwert (Abb. 4, 5, 6 und 10).

#### 4.2 Wärmeleitfähigkeit

Tabelle 2 sowie die Abbildungen 3 bis 6 zeigen eine Zusammenstellung der Messergebnisse. Die Wärmeleitfähigkeit nimmt mit zunehmender Temperatur um 0,00022–0,00048 W/m · K<sup>2</sup> zu (Tabelle 2). Dabei ist die Zunahme bei den dicksten Platten (Varianten 3 und 5) am größten. Jedoch zeigt sich auch eine erhöhte Zunahme bei den Platten mit Hohlräumen in den Mittellagen (deutlich erkennbar bei Variante 13). Die Kennwerte der Wärmeleitfähigkeit bei 10 °C liegen zwischen 0,088–0,107 W/m · K und dadurch leicht



**Abb. 6** Einfluss der Dicke der Mittellage auf die Wärmeleitfähigkeit (Varianten: 1 (10/10/10), 2 (10/20/10), 3 (10/40/10))

**Fig. 6** Influence of the thickness of the middle layer on the thermal conductivity (types: 1 (10/10/10), 2 (10/20/10), 3 (10/40/10))



unter den in den meisten Firmenangaben angegebenen Bereichen (meist wird ein Wert für  $\lambda$  von 0,12–0,14 W/m · K angegeben). Abbildung 3 stellt die Wärmeleitfähigkeit der gemessenen Platten bei 25 °C in Abhängigkeit von der Rohdichte dar. Dabei ergeben sich fast durchwegs niedrigere Werte gegenüber der von Kollmann (1951) allgemein für Holz quer zur Faserrichtung bei 27 °C bestimmten Wärmeleitfähigkeit (Gl. 2). Dies gilt insbesondere auch für die Platten mit einer OSB- bzw. MDF-Mittellage, welche im Verhältnis zu ihrer hohen Rohdichte sehr tiefe Wärmeleitfähigkeitswerte aufweisen.

Um die Ergebnisse der Messungen an den Platten aus reinen Holzlagen besser vergleichen zu können, wurden diese auf eine einheitliche Rohdichte und eine einheitliche Holzfeuchte umgerechnet. Es waren aber vergleichsweise geringe Differenzen vorhanden. Abbildung 4 gibt einen Überblick über die Mittel- sowie Maximal- und Minimalwerte der Wärmeleitfähigkeit aller Platten (bei den Platten aus reinen Holzlagen sind die Werte auf eine einheitliche Feuchte und Dichte korrigiert (vgl. Tabelle 2)).

Der Dichteinfluss macht sich erwartungsgemäß auch bei den Platten mit Hohlräumen in der Mittellage bemerkbar. Je größer der Abstand zwischen den je 7 cm breiten Brettlamellen in der Mittellage ist, d. h. je geringer auch die Dichte der Platten ist, desto geringer ist die Wärmeleitfähigkeit (Abb. 5). Zwischen den Lamellen ohne Abstand ist dabei eine Differenz von verklebten und unverklebten Lamellen erkennbar (Varianten 1 und 10), die näher untersucht werden sollte. In Abb. 5 sind daher nur die unverklebten Varianten dargestellt. Andererseits führt die OSB bzw. MDF in der Mittellage infolge von deren deutlich größerer Rohdichte zu einem Anstieg der Wärmeleitfähigkeit (Abb. 4, Varianten 8 und 9). Ein gewisser Einfluss ist auch hinsichtlich der Orientierung der Lagen vorhanden, da die Wärmeleitfähigkeit bei Vollholz radial leicht höher ist als tangential (Niemz 1993). Diese Tendenz zeigt sich bei den Varianten 6 (tangential) und 14 (radial), jedoch nicht bei Variante 7 (tangential), da hier weitere Einflüsse wie unterschiedliche Dicke und schmalere Lamellen (höherer Klebstoffanteil) die Vergleichbarkeit erschweren. Die Dicke der Lagen wirkt sich vergleichsweise wenig aus (Abb. 6). Bei extrem dicken Mittellagen kommt es durch die vorhandene Jahrringneigung zu einem gewissen Einfluss des Winkels zwischen radialer und tangentialer Richtung.

#### 4.3 Gleichgewichtsfeuchte und Quellung

Tabelle 3 zeigt die Gleichgewichtsfeuchte der Proben als Funktion der relativen Luftfeuchtigkeit. Zum Vergleich ist Fichtenvollholz eingetragen. Im unteren Bereich (bis 35% rel. Luftfeuchte) ist die Gleichgewichtsfeuchte bei Massivholzplatten etwas höher, oberhalb von 35% niedriger als bei Vollholz. Diese Tendenz wurde auch von Pop-

per et al. (2004) bestimmt. Die Ursache hierfür ist noch nicht eindeutig geklärt, hierzu laufen weitere Arbeiten. Da die Platten bei Raumtemperatur verpresst wurden, kommt die Presstemperatur nicht als Ursache in Frage. Bei Materialkombinationen Vollholz/Partikelwerkstoffe dürfte die niedrigere Gleichgewichtsfeuchte des Verbundsystems durch die geringere Gleichgewichtsfeuchte der Partikelwerkstoffe hervorgerufen werden. Die Platten mit MDF- und OSB-Mittellagen haben bekanntermaßen eine etwas geringere Gleichgewichtsfeuchte als die mit Vollholz-Mittellagen.

Tabelle 4 zeigt die differenzielle Quellung ( $q$ ) der Varianten. Dabei kommt es bei allen Platten durch die kreuzweise Verleimung der Lagen zu einem deutlichen Absperreffekt bezüglich der Quellung quer zur Faser in Plattenebene. Die Varianten mit Abständen zwischen den Mittellagen (Varianten 11–13) wurden senkrecht zur Orientierung der Decklagen nicht gemessen, da der Fugenabstand teilweise die Probenbreite überschritt (Variante 13). Die Quellung parallel zur Faserrichtung der Decklagen liegt mit einem mittleren  $q$  von 0,010%/‰ bis 0,018%/‰ etwas über der von Vollholz ( $q = 0,01\%/‰$ ), was auf den Quelldruck der Mittellagen zurückzuführen ist. Quer zur Faserrichtung verhält sich die Längenquellung bei den meisten Platten ähnlich, was auf den Quelldruck der Decklagen zurückzuführen ist. Deutlich höher liegt sie jedoch bei Verwendung von OSB und MDF als Mittellage. Sie liegt etwas oberhalb der freien Quellung von MDF und OSB in Plattenebene (nach Sonderegger und Niemz (2006):  $q = 0,040\%/‰$  für MDF;  $q = 0,028\%/‰$  für OSB). Ebenso zeigt sich bei den Platten mit Deckla-

**Tabelle 4** Differenzielle Längenquellung  $q$  mit Standardabweichung zwischen 35% und 80% rel. Luftfeuchte. Parallel = parallel zum Faserverlauf der Deckschicht (Messung in der Deckschicht); quer = quer zum Faserverlauf der Deckschicht (Messung in der Mittelschicht).

**Table 4** Differential in-plane swelling  $q$  with standard deviation at a relative humidity of between 35% and 80%. Parallel = parallel to the fibre orientation of the upper layer (measured on the upper layer); quer = perpendicular to the fibre orientation of the upper layer (measured on the middle layer).

Variante	Plattenaufbau [mm]	Rohdichte [kg/m <sup>3</sup> ]	$q$ parallel [%/‰]	$q$ quer [%/‰]
1	10/10/10	404	0,012 ± 0,003	0,016 ± 0,003
2	10/20/10	434	0,018 ± 0,009	0,011 ± 0,003
3	10/40/10	422	0,014 ± 0,004	0,010 ± 0,004
4	7/14 <sub>G</sub> /7	438	0,010 ± 0,007	0,009 ± 0,004
5	20/30 <sub>G</sub> /20	398	0,013 ± 0,004	0,015 ± 0,006
6	10 <sub>st</sub> /10/10 <sub>st</sub>	424	0,015 ± 0,005	0,016 ± 0,004
7	14 <sub>st</sub> /14 <sub>st</sub> /14 <sub>st</sub>	478	0,011 ± 0,003	0,020 ± 0,011
8	10/19 <sub>MDF</sub> /10	571	0,014 ± 0,006	0,046 ± 0,004
9	10/17 <sub>OSB</sub> /10	536	0,011 ± 0,004	0,031 ± 0,005
10	10/10 <sub>0</sub> /10	445	0,018 ± 0,011	0,017 ± 0,005
11	10/10 <sub>5</sub> /10	430	0,014 ± 0,007	–
12	10/10 <sub>10</sub> /10	419	0,012 ± 0,005	–
13	10/10 <sub>30</sub> /10	393	0,015 ± 0,007	–
14	10 <sub>r</sub> /10/10 <sub>r</sub>	438	0,010 ± 0,004	0,024 ± 0,013

gen mit liegenden Jahrringen (Variante 14) eine deutlich stärkere Quellung, bedingt durch die tangentiale Ausrichtung der Decklagen.

#### 4.4 Wasserdampfdiffusionswiderstand

Tabelle 5 und Abb. 8–10 zeigen die Versuchsergebnisse. Deutlich ist der unter Verwendung aller Platten aus Vollholz berechnete Einfluss der Dichte auf den Wasserdampfdiffusionswiderstand erkennbar (Abb. 8). Auch der Unterschied zwischen liegend und stehend orientierten Decklagen ist gut erkennbar (Abb. 9). Bei liegenden Jahrringen macht sich die in radialer Richtung geringere Wasserdampfdiffu-

sionswiderstandszahl im Vergleich zu stehenden Jahrringen bemerkbar (Diffusion in tangentialer Richtung). Dies deckt sich mit Arbeiten von Vanek und Teischinger (1989) an Vollholz (Abb. 7). Das Schlitzten der Mittellage und die Verwendung von Hohlräumen zwischen den Brettern der Mittellage führen zu einer deutlichen Reduzierung des Wasserdampfdiffusionswiderstandes (Abb. 10). Auch der im Vergleich zum Vollholz unterschiedliche Wasserdampfdiffusionswiderstand von MDF und OSB ist in einer niedrigeren (Massivholzplatte mit MDF-Mittellage) bzw. erhöhten Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl (Massivholzplatte mit OSB-Mittellage) erkennbar (Tabelle 5, Varianten 8 und 9). Insgesamt ist eine recht große Streuung der Messwerte vorhanden.

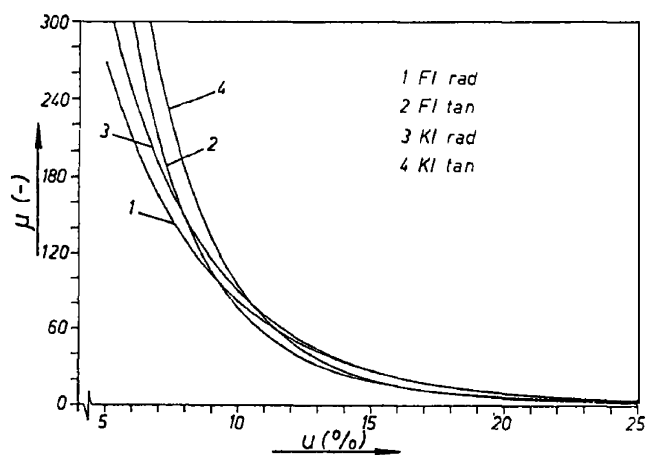
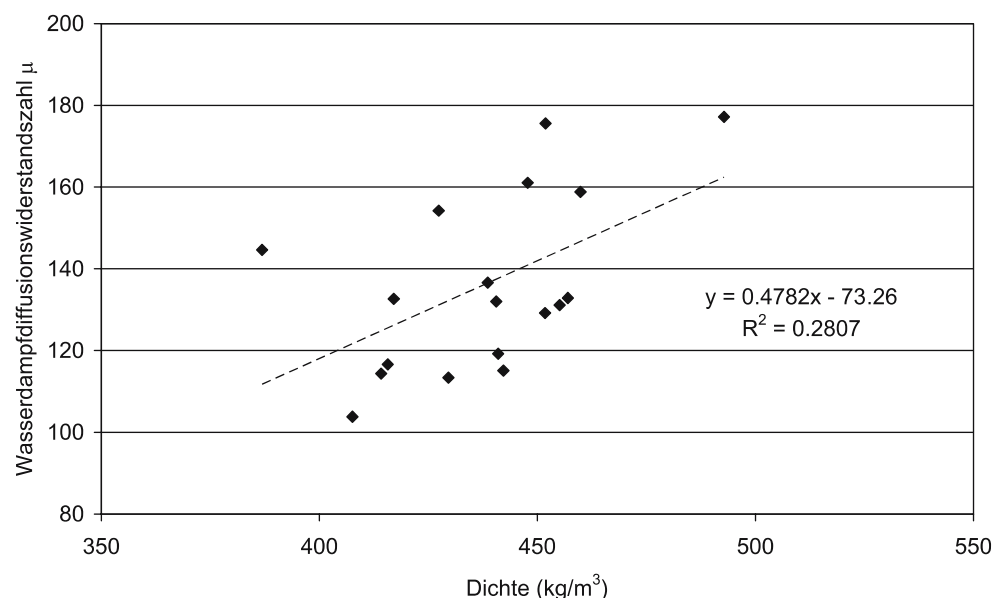
**Tabelle 5** Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl  $\mu$ , Luftschichtdicke  $s_d$  und Holzfeuchte (mittlere Holzfeuchte im Ausgleichszustand)

**Table 5** Water vapour resistance factor  $\mu$ , water vapour diffusion-equivalent air layer thickness  $s_d$  and moisture content (mean moisture content at the equilibrium)

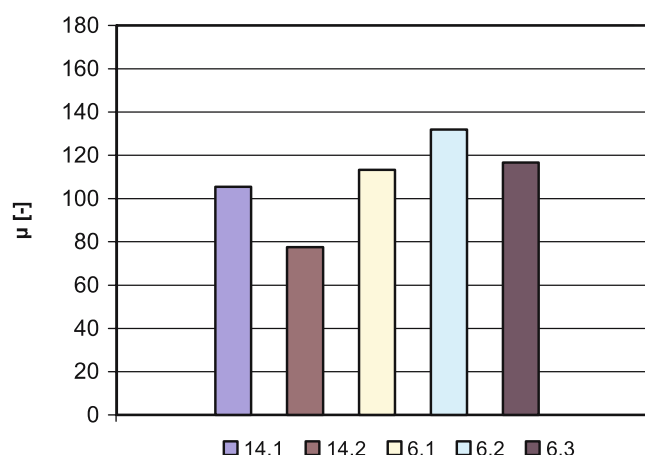
Variante	Plattenaufbau	$\mu$ [-]	$s_d$ [m]	Holzfeuchte [%]
1	10/10/10	134,2	3,77	9,2
2	10/20/10	122,4	4,85	10,0
3	10/40/10	148,3	8,75	10,8
4	7/14 <sub>G</sub> /7	109,2	2,89	9,5
5	20/30 <sub>G</sub> /20	95,7	6,64	10,8
6	10 <sub>st</sub> /10/10 <sub>st</sub>	120,7	3,43	9,2
7	14 <sub>st</sub> /14 <sub>st</sub> /14 <sub>st</sub>	165,7	7,08	9,4
8	10/19 <sub>MDF</sub> /10	109,0	4,17	7,6
9	10/17 <sub>OSB</sub> /10	159,1	5,94	8,3
10	10/10 <sub>o</sub> /10	124,9	3,62	9,3
11	10/10 <sub>s</sub> /10	117,6	3,40	9,5
12	10/10 <sub>l</sub> /10	81,1	2,35	9,7
13	10/10 <sub>30</sub> /10	69,8	2,02	9,6
14	10 <sub>l</sub> /10/10 <sub>l</sub>	91,5	2,72	9,0

**Abb. 8** Wasserdampfdiffusionswiderstand in Abhängigkeit von der Dichte unter Berücksichtigung der Varianten: 1, 2, 3, 6, 7 und 10

**Fig. 8** Water vapour resistance depending on the density for the types: 1, 2, 3, 6, 7 and 10

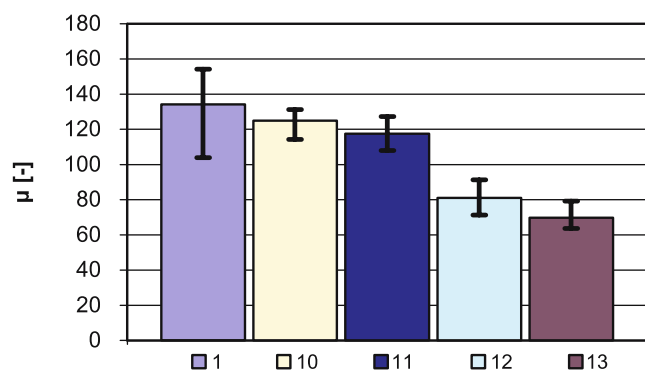


**Abb. 7** Einfluss der Holzfeuchte und der Schnitttrichtung auf den Wasserdampfdiffusionswiderstand nach Vanek und Teischinger (1989)  
**Fig. 7** Influence of the moisture content and the cut direction on the water vapour resistance according to Vanek und Teischinger (1989)



**Abb. 9** Einfluss der Schnitttrichtung in den Decklagen (Einzelwerte der Varianten) auf den Wasserdampfdiffusionswiderstand (Varianten: 6 (10<sub>st</sub>/10/10<sub>st</sub>), 14 (10<sub>l</sub>/10/10<sub>l</sub>))

**Fig. 9** Influence of the cut direction on the water vapour resistance (types: 6 (10<sub>st</sub>/10/10<sub>st</sub>), 14 (10<sub>l</sub>/10/10<sub>l</sub>))



**Abb. 10** Einfluss des Abstandes zwischen den Lamellen in der Mittellage auf den Wasserdampfdiffusionswiderstand (Varianten: 1 (10/10/10), 10 (10/10<sub>0</sub>/10), 11 (10/10<sub>5</sub>/10), 12 (10/10<sub>10</sub>/10), 13 (10/10<sub>30</sub>/10))

**Fig. 10** Influence of the space between the lamellas in the middle layer on the water vapour resistance (types: 1 (10/10/10), 10 (10/10<sub>0</sub>/10), 11 (10/10<sub>5</sub>/10), 12 (10/10<sub>10</sub>/10), 13 (10/10<sub>30</sub>/10))

## 5 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

An labortechnisch hergestellten Massivholzplatten wurden Wärmeleitfähigkeit, Gleichgewichtsfeuchte, Längenquellung und Wasserdampfdiffusionswiderstand bestimmt. Die Wärmeleitfähigkeit der im Normklima klimatisierten Massivholzplatten liegt im Bereich von 0,09–0,11 W/m · K. Die Wärmeleitfähigkeit korreliert mit der Rohdichte. Hohlräume in der Mittellage (Schlitze, Abstände zwischen den einzelnen Brettlamellen) führen tendenziell mit zunehmendem Lamellenabstand zu einer geringen Abnahme der Wärmeleitfähigkeit. Werden die Decklagen mit liegenden Jahrringen angeordnet, ist die Wärmeleitfähigkeit leicht höher als mit stehenden. Unter Berücksichtigung der Streuung der Werte sind die Unterschiede jedoch ge-

ring. Auf den Wasserdampfdiffusionswiderstand wirken sich die Orientierung der Decklagen (in radialer Richtung niedrigerer Wasserdampfdiffusionswiderstand als in tangentialer Richtung) und Hohlräume in der Mittellage (Abfall des Wasserdampfdiffusionswiderstandes mit Zunahme der Hohlräume) aus. Der Einfluss von Hohlräumen in den Mittellagen ist jedoch deutlich größer als derjenige der Orientierung der Decklagen. Die Gleichgewichtsfeuchte liegt oberhalb von 35% rel. Luftfeuchte etwas unterhalb derjenigen von Fichtenholz. Bei Holzwerkstoffmittellagen ist sie durch die geringere Ausgleichsfeuchte der Holzpartikelwerkstoffe geringer als bei reinen Vollholzmittellagen.

## Literatur

- Blaß HJ, Fellmoser P (2003) Bemessung von Mehrschichtplatten. *Bauen Holz* 8:36–39
- DIN EN ISO 12572 (2001) Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Baustoffen und Bauprodukten – Bestimmung der Wasserdampfdurchlässigkeit. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 26 Seiten
- DIN 52183 (1977) Prüfung von Holz – Bestimmung des Feuchtigkeitsgehaltes. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2 Seiten
- DIN 52184 (1979) Prüfung von Holz – Bestimmung der Quellung und Schwindung. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 4 Seiten
- DIN 52612 Teil 1 (1979) Wärmeschutztechnische Prüfungen – Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit mit dem Plattengerät. Durchführung und Auswertung. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 6 Seiten
- DIN 68705-5 Beiblatt 1 (1980) Bau-Furniersperrholz aus Buche; Zusammenhänge zwischen Plattenaufbau, elastischen Eigenschaften und Festigkeiten. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 6 Seiten
- Donzé M, Niemz P (2004) Orientierende Untersuchungen zur Modellierung der Eigenschaften dreischichtiger Massivholzplatten. *HOLZ* (1):27–31
- Kreuzinger H (1991) Platten, Scheiben, Schalen. *Bauen Holz* 1: 34–39
- Kollmann F (1951) Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe. Erster Band: Anatomie und Pathologie, Chemie, Physik, Elastizität und Festigkeit. 2. Auflage. Springer, Berlin Göttingen Heidelberg, 1050 Seiten
- Krug D (1999) Der Holzwerkstoff Massivholzplatte. Ausgewählte Material- und Gebrauchseigenschaften dreilagiger Massivholzplatten aus Nadelholz für konstruktive Zwecke. Tagungsband, 3. IHD Kolloquium, Dresden, 09.12.1999
- Merz K, Fischer J, Brunner R, Baumberger M (1997) Holzprodukte für den statischen Einsatz. Teil 1: Plattenförmige Holzprodukte. Lignatec, Zürich, 28 Seiten
- Niemz P (1993) Physik des Holzes und der Holzwerkstoffe. DRW-Verlag, Leinfelden-Echterdingen, 243 Seiten
- Popper R, Niemz P, Eberle G (2004) Untersuchungen zur Gleichgewichtsfeuchte und Quellung von Massivholzplatten. *Holz Roh-Werkst* 62(3):209–217
- Radovic B, Cheret P, Heim F (2001) Informationsdienst Holz: Holzbau Handbuch. Reihe 4: Baustoffe. Teil 4: Holzwerkstoffe. Folge 1: Konstruktive Holzwerkstoffe. 2. Auflage. Arbeitsgemeinschaft Holz e.V., Düsseldorf, 26 Seiten
- Tobisch S, Krug D (2002a) Dreilagige Massivholzplatten mit substituerter Mittellage. *HOLZ* 3:41–45



- Tobisch S, Krug D (2002b) Die neue Mitte. DDS – Das Magazin für Möbel und Ausbau 6:40–43
- Tobisch S, Krug D (2002c) Neuartige mehrschichtige Verbundplatten. Mobil Oil Symposium, Bremen, 12.–14.9.2002
- Sonderegger W, Niemz P (2006) Untersuchungen zur Quellung und Wärmedehnung von Faser-, Span- und Sperrholzplatten. Holz Roh- Werkst 64(1):11–20
- Steiger B, Niemz P (2004) Untersuchungen zu ausgewählten Einflussfaktoren auf die Eigenschaften von dreischichtigen Massivholzplatten. HOLZ 1:29–32
- Vanek M, Teischinger A (1989) Diffusionskoeffizienten und Diffusionswiderstandszahlen von verschiedenen Holzarten. Holzforsch Holzverw 41(1):3–6